

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

<b>(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> :</b>  <b>A61F</b>	<b>A2</b>	<b>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 98/31299</b>  <b>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:</b> 23. Juli 1998 (23.07.98)
<b>(21) Internationales Aktenzeichen:</b> PCT/DE98/00102  <b>(22) Internationales Anmeldedatum:</b> 14. Januar 1998 (14.01.98)  <b>(30) Prioritätsdaten:</b> 197 01 807.6      21. Januar 1997 (21.01.97)      DE 197 27 121.9      26. Juni 1997 (26.06.97)      DE  <b>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US):</b> TECHNOMED GESELLSCHAFT FÜR MED. UND MED.-TECHN. SYSTEME MBH [DE/DE]; Arnold-Sommerfeld-Ring 1, D-52499 Baesweiler (DE).  <b>(72) Erfinder; und</b> <b>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US):</b> VON WALLFELD, Her- bert [DE/DE]; Prämienstrasse 51, D-52428 Jülich (DE). NEUHANN, Thomas [DE/DE]; Herzogstrasse 48, D-80803 München (DE).  <b>(74) Anwalt:</b> LIERMANN - CASTELL; Schillingsstrasse 335, D-52355 Düren (DE).		<b>(81) Bestimmungsstaaten:</b> AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DK, EE, ES, FI, GB, GE, GH, HU, IL, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZW, ARIPO Patent (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, ML, MR, NE, SN, TD, TG).  <b>Veröffentlicht</b> <i>Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu          veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.</i>
<b>(54) Title:</b> METHOD FOR DETERMINING THE DESIRED SHAPE OF AT LEAST ONE SURFACE OF A SYNTHETIC OR NATURAL PART OF AN EYE THAT IS INTERSECTED BY A BEAM PATH THROUGH THE EYE PUPIL, AND DEVICE FOR PRODUCTION OF A SYNTHETIC LENS  <b>(54) Bezeichnung:</b> VERFAHREN ZUR ERMITTLUNG EINER SOLLFORM MINDESTENS EINER VON EINEM STRAHLENGANG DURCH DIE PUPILLE EINES AUGES GESCHNITTENEN OBERFLÄCHE EINES KÜNSTLICHEN ODER NATÜRLICHEN TEILS EINES AUGES UND VORRICHTUNG ZUR HERSTELLUNG EINER KÜNSTLICHEN LINSE  <b>(57) Abstract</b>  According to the inventive method, the refractivity of a plurality of beam paths, each emitted from one given point and distributed on a surface, is measured along the beam path or pre-set according to empirical values. The distances along the path of the incident beams between the surfaces intersected by the beam path are subsequently measured or pre-set according to empirical values. From these values, the desired shape of at least one of the surfaces intersected by the beam paths is then calculated in such a way that the beam paths, if possible, intersect at one point. Optical devices that have been inserted inside the eye, fixed on the front segment of the eye, inserted inside the cornea or placed on the surface of the cornea can be calculated on the basis of the values thus obtained, for computational simulation of all measurements modifying refractivity in the eye, before the afore-mentioned measurement is made. As an example, a device for the production of a synthetic lens is described.  <b>(57) Zusammenfassung</b>  Bei dem Verfahren wird für eine Vielzahl über eine Oberfläche verteilte jeweils von einem Punkt ausgehende Strahlengänge das Brechungsverhalten längs des Strahlenganges gemessen oder aus Erfahrungswerten vorgegeben. Anschließend werden die Abstände längs des Strahlenganges der einfallenden Strahlen zwischen den vom Strahlengang geschnittenen Oberflächen gemessen oder aus Erfahrungswerten vorgegeben und aus diesen Werten wird die Sollform mindestens einer von den Strahlengängen geschnittenen Oberfläche so berechnet, daß die Strahlengänge sich möglichst in einem Punkt schneiden. Mit den so berechneten Werten können auf die Hornhautoberfläche aufgebrachte, in das Hornhautinnere eingebrachte, im vorderen Augenabschnitt befestigte und in das Augeninnere eingebrachte optische Vorrichtungen berechnet werden, um alle brechkraftverändernden Maßnahmen am Auge rechnerisch zu simulieren bevor die Maßnahme vorgenommen wird. Als Beispiel ist eine Vorrichtung zur Herstellung einer künstlichen Linse beschrieben.		

### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

**Verfahren zur Ermittlung einer Sollform mindestens einer von einem Strahlengang durch die Pupille eines Auges geschnittenen Oberfläche eines künstlichen oder natürlichen Teils eines Auges und Vorrichtung zur Herstellung einer künstlichen Linse**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung einer Sollform mindestens einer von einem Strahlengang durch die Pupille eines Auges geschnittenen Oberfläche eines künstlichen oder natürlichen Teils eines Auges.

- 5 Zu den natürlichen Teilen eines Auges, die von einem durch die Pupille eines Auges gehenden Strahlengang geschnitten werden, zählen die Hornhaut und die Linse. Darüberhinaus können auf die Hornhautoberfläche aber auch optische Vorrichtungen aufgelegt oder operativ aufgebracht werden, in das Hornhautinnere können Implatate eingesetzt werden, um die Hornhautform zu variieren, und in  
10 den vorderen Augenabschnitt oder in das Augeninnere können weitere Vorrichtungen eingebracht werden, um den durch das Auge gehenden Strahlengang zu brechen.

- Die Form der geschnittenen Oberflächen ist von besonderer Bedeutung, da durch die Veränderung der Form einer durch den Strahlengang geschnittenen  
15 Oberfläche die Brechkraft des Auges verändert wird. Bei Maßnahmen zur Behandlung von natürlichen Teilen des Auges oder künstlich eingesetzten oder aufgetragenen Teilen sollte der Erfolg genau vorbestimmbar sein.

- Insbesondere bei der Abstimmung mehrerer Maßnahmen, die die Brechkraft des Auges verändern, bestehen große Probleme den tatsächlich erreichten Erfolg  
20 vorherzusagen.

Beispielsweise ist zur Herstellung einer künstlichen Linse bekannt, mittels der Keratometrie in 4 Punkten die Krümmung der Augenhornhaut zu vermessen und

durch Extrapolation die ungefähre Krümmung der gesamten Hornhautoberfläche zu bestimmen. Außerdem werden mit der Biometrie die Abstände zwischen Hornhautvorderfläche, Linse und Retina vermessen, um mittels der durchschnittlichen Hornhautkrümmung die Krümmung bzw. Brechkraft der Linse so festzulegen, daß an der Hornhaut einfallende Strahlen sich in einem Punkt auf der Retina schneiden.

Dieses Verfahren ist für eine Hornhaut mit einer sehr gleichmäßigen Krümmung geeignet. Da die Hornhautkrümmung in der Regel jedoch im Bereich der gesamten Fläche unterschiedlich ist, werden in der Praxis in bestimmten Hornhautbereichen einfallende Strahlen nicht im angestrebten Punkt focusiert.

Außerdem eignet sich dieses Verfahren nur zur Bestimmung der Oberfläche einer künstlichen Linse.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren vorzuschlagen, das es erlaubt, die Sollform einer beliebigen von einem Strahlengang durch die Pupille eines Auges geschnittenen Oberfläche so zu bestimmen, daß eine möglichst genaue Abbildung im Auge entsteht.

Diese Aufgabe wird mit einem Verfahren gelöst, bei dem für eine Vielzahl über die Oberfläche verteilte, jeweils von einem Punkt ausgehende Strahlengänge das Brechungsverhalten längs des Strahlenganges gemessen oder aus Erfahrungswerten vorgegeben wird, die Abstände längs des Strahlengangs der einfallenden Strahlen zwischen den vom Strahlengang geschnittenen Oberflächen gemessen oder aus Erfahrungswerten vorgegeben werden und aus diesen Werten

die Sollform mindestens einer von den Strahlengängen geschnittenen Oberfläche so berechnet wird, daß die Strahlengänge sich möglichst in einem Punkt schneiden.

5 Das erfindungsgemäße Verfahren hat den Vorteil, daß auf einer von einem Strahlengang durch die Pupille des Auges geschnittenen Oberfläche beliebig viele Punkte vermessen werden können, um die Genauigkeit für die Formgebung der Oberfläche zu erhöhen. In besonders wichtigen Bereichen, wie z. B. dem zentralen Bereich, können sehr viele Punkte berechnet, während im Randbereich die Berechnung weniger Punkte ausreichen kann. Auch während der Vermessung  
10 oder vorher festgestellte Verformungen der Hornhaut oder eines anderen Augenbereiches können bei dem erfindungsgemäßen Verfahren berücksichtigt werden, indem gerade in diesem Bereich besonders viele Punkte vermessen werden. Die mit dem Verfahren bestimmte Sollform ist somit genau an das individuelle Auge angepaßt und kann somit Verformungen oder  
15 Unregelmäßigkeiten an einer anderen Stelle des Auges ausgleichen.

Das Verfahren eignet sich vor allem zur Simulation von Eingriffen am Auge. Beispielsweise kann die gesamte Oberfläche einer auf die Augenoberfläche auflegbaren Kontaktlinse berechnet werden. Wenn das notwendige Brechungsverhalten der Kontaktlinse auf zum Kontaktlinsenmittelpunkt  
20 konzentrischen Ringen annähernd gleich ist, eignet sich der Einsatz einer Kontaktlinse. Andernfalls muß eine andere Maßnahme vorgenommen werden oder es werden die Abweichungen aufweisende Bereiche der Oberfläche durch ein weiteres Verfahren kompensiert. Dieses Beispiel zeigt, daß das erfindungsgemäße Verfahren einstufig eingesetzt werden kann, um die Sollform

einer Oberfläche festzulegen. Da jedoch viele Sollformen technisch oder operativ nicht herstellbar sind, wird in diesen Fällen in einem zweiten Verfahrensschritt unter Berücksichtigung der ersten Maßnahme, wie beispielsweise der aufgelegten Kontaktlinse erneut das Brechungsverhalten längs der Strahlengänge gemessen,  
5 um aus den gemessenen Werten die Sollform einer anderen Oberfläche zu bestimmen.

Zu den verschiedenen Eingriffen, für die die genaue Bestimmung der Sollform einer Oberfläche von großer Bedeutung ist, zählen u. a. neben den Kontaktlinsen die Epikeratophakie, die photorefraktive Keratektomie, die radiäre Keratotomie  
10 und die Thermokeratoplastik, intrakorneale Inlays, intrakorneale Ringe, die Linsenimplantation in das phake Auge und der Einsatz von Intraokkularlinsen.

Vorteilhaft ist es, wenn zusätzlich zur Ermittlung der Sollform der Oberfläche mit den berechneten Werten der Stoff eines Teiles des Auges nach seinem Brechungsverhalten ausgewählt wird. Während die Dicke des Stoffes, der vom  
15 Strahlengang geschnitten wird, bei dem beschriebenen Verfahren in die Sollform der Oberfläche eingeht, bewirkt auch die Auswahl des Materials von künstlich ins Auge eingesetzten Teilen ein spezielles Brechungsverhalten. Das erfindungsgemäße Verfahren erlaubt es somit, die Materialien für die eingesetzten Teile zu variieren und für unterschiedliche Materialien die jeweilige Form der  
20 geschnittenen Oberflächen zu bestimmen. Beispielsweise eine künstliche Linse hat je nach verwendetem Material ein anderes Brechungsverhalten und daher wird je nach verwendetem Material eine andere Sollform mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bestimmt.

Ein bevorzugter Anwendungsbereich des Verfahrens liegt darin, daß mit den berechneten Werten eine Vorrichtung zur Herstellung einer künstlichen Linse angesteuert wird. Die mit dem Verfahren hergestellte Linse ist somit genau an die individuelle Augenhornhaut angepaßt und kann somit Verformungen auf der  
5 Hornhaut ausgleichen.

Die Anzahl der vermessenen Punkte, an denen das Brechungsverhalten gemessen wird, ist beliebig zu steigern. Vorzugsweise sollten jedoch mehr als 20 Punkte vermessen werden, um ein akzeptables Ergebnis zu erzielen.

Um eine große Anzahl an Punkten schnell zu vermessen, wird vorgeschlagen,  
10 daß das Brechungsverhalten an der Hornhaut topometrisch analysiert wird. Die Topometrie erlaubt eine sehr genaue Vermessung der gesamten Hornhautoberfläche und ist daher für das erfindungsgemäße Verfahren besonders geeignet.

Die Abstände längs des Strahlengangs der einfallenden Strahlen zwischen den  
15 vom Strahlengang geschnittenen Oberflächen, wie Hornhaut, Linse und Retina werden vorzugsweise biometrisch gemessen. Dies ist ein einfaches, gut erforschtes und besonders genaues Verfahren für derartige Vermessungen.

Da bekannt ist, daß auch die Dicke der Hornhaut über die Fläche variiert, ist es vorteilhaft, wenn die Hornhautdicke an mehreren Punkten gemessen wird.  
20 Üblicherweise wird bei der Herstellung und auch der Implantation künstlicher Linsen die Hornhautdicke nicht speziell berücksichtigt. Die Vermessung der Hornhautdicke führt jedoch zu einer weiteren Steigerung der Genauigkeit,

beispielsweise bei der Herstellung künstlicher Linsen.

Je nach Berechnung kann der Schnittpunkt der Strahlengänge vor oder hinter der Retina liegen. Vorteilhaft ist ein Schnittpunkt auf der Retina, vorzugsweise im gelben Fleck.

- 5 Im Prinzip reicht es aus, eine Oberfläche genauestens zu berechnen und entsprechend zu verformen, um einen einzigen Schnittpunkt aller Strahlengänge zu erzielen. Gerade bei notwendigen stärkeren Verformungen oder aus herstellungstechnischen oder operativen Gründen ist es jedoch oftmals günstig, wenn die Sollformen mehrere Oberflächen berechnet werden. Beispielsweise kann
- 10 eine Linsenvorderseite und die Linsenrückseite einer künstlichen Linse individuell geformt werden, so daß das gesamte Brechungsverhalten der Linse zusammen mit dem Brechungsverhalten der übrigen Oberflächen des Auges zu dem erfindungsgemäßen Schnittpunkt führen.

- 15 Für Menschen, die wegen der Alterssichtigkeit für Ferne und Nähe verschiedene Brillengläser benötigen, empfiehlt es sich, daß die Brechkraft der Oberflächen so berechnet wird, daß ein Gleitsicht, Bi- oder Multifokaleffekt entsteht. Dies kann beispielsweise durch spezielle Krümmungen einer künstlich eingesetzten Linse erreicht werden.

- 20 Außerdem liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zur Herstellung einer künstlichen Linse vorzuschlagen, die es erlaubt, Unebenheiten auf der Hornhaut zu berücksichtigen.



Diese Aufgabe wird gelöst mit einer Vorrichtung zur Herstellung einer künstlichen Linse mit einer Eingabeeinheit zum Eingeben der Hornhautkrümmung und des Ortes einer Vielzahl von Punkten auf der Augenhornhaut und der Abstände zwischen Hornhaut, einzusetzender Linse und Retina, mit einem

5    Rechner zur Berechnung des Brechungswinkels für jeden dieser Punkte und der Krümmung jedes einem Punkt auf der Hornhaut entsprechenden Punktes auf der Linsenoberfläche und einer Einrichtung zur Herstellung der künstlichen Linse nach den berechneten Werten.

10   Eine derartige Vorrichtung erlaubt es, auf der Grundlage der notwendigen, beispielsweise vom Optiker oder Augenarzt ermittelten Daten eines speziellen Auges, eine individuelle Linse herzustellen, die Unebenheiten auf der Hornhaut ausgleicht. Die gemessenen Werte können beispielsweise auf einer Diskette oder online dem Linsenhersteller übermittelt werden, der eine den Werten entsprechende Linse herstellt.

15   Vorzugsweise weist die Einrichtung zum Herstellen der künstlichen Linse eine Lasereinrichtung zum Schneiden der Linse auf. Lasereinrichtungen erlauben eine genaue Steuerung von Schnitten und sind somit besonders geeignet, auf der Grundlage von vorgegebenen Daten automatisch eine entsprechende Linse zu schneiden.

20   Die so erzeugte Linse kann durch Mittelwertbildung der Werte auf konzentrischen Ringen um den Mittelpunkt eine auf jedem Radius gleiche Form erhalten. Eine höhere Genauigkeit wird jedoch erreicht, wenn die Linse nicht konzentrisch, sondern möglichst genau der Hornhaut entsprechend ausgebildet ist.

In diesem Fall muß die erzeugte Linse mittels Hilfsinstrumenten oder Aufhängevorrichtungen in einer genau festgelegten Ausrichtung in das menschliche Auge eingesetzt werden, da schon eine kleine Verdrehung der Linse die genaue Anpassung an die Augenhornhaut zunichte macht. Es wird daher  
5 vorgeschlagen, die hergestellte Linse mit einer Markierung zu versehen, die beim Einsetzen der Linse die Ausrichtung der Linse erleichtert.

Das erfindungsgemäße Verfahren und ein Ausführungsbeispiel zur erfindungsgemäßen Vorrichtung werden in den Zeichnungen dargestellt und im folgenden näher beschrieben.

10 Es zeigt,

Figur 1 einen waagerechten, schematischen Schnitt durch den rechten Augapfel, von oben gesehen.

Figur 2 eine schematische Darstellung der Vorrichtung.

Das in Figur 1 gezeigte Auge 1 besteht im wesentlichen aus der Hornhaut 2, der  
15 künstlichen Linse 3 und der Retina 4. Von einem Punkt P ausgehende Strahlen 5, 6, 7 treffen an den Punkten 8, 9, 10 auf die Hornhaut 2, gehen durch die Hornhaut hindurch in die vordere Augenkammer 11, treffen auf die Linsenvorderseite 12, gehen durch die künstliche Linse 3 hindurch und gelangen über die Linsenrückseite 13 in den Glaskörper 14. Im weiteren Verlauf durch den  
20 Glaskörper sind die aus der künstlichen Linse heraustretenden Strahlen 5, 6, 7, so abgelenkt, daß sie sich in einem gemeinsamen Schnittpunkt 15 treffen.

Bei einer sphärisch gekrümmten Hornhaut 2 kann an einem oder wenigen Punkten die Hornhautkrümmung beispielsweise keratometrisch gemessen werden, um die Linsenkrümmung der künstlichen Linse 3 so zu bestimmen, daß die einfallenden Strahlen 5, 6, 7, sich in idealer Weise einem Schnittpunkt in diesem Beispiel dem gelben Fleck 15 treffen.

Problematisch ist jedoch, wenn die Hornhaut 2 wie im Punkt 8, eine abweichende Krümmung aufweist oder wie im Punkt 10, eine erhöhte Dicke. An diesen Stellen ist die Hornhaut 2 nicht vollständig sphärisch und die einfallenden Strahlen werden so gebrochen, daß sie nach dem Durchgang durch die künstliche Linse sich nicht mehr im Punkt 15 treffen. Daher wird nach der Erfindung vorgeschlagen, daß die Linsenoberfläche 12, 13 so gestaltet wird, daß Abweichungen in der Hornhautkrümmung oder der Hornhautdicke durch die Oberflächengestaltung an der künstlichen Linse ausgeglichen werden. Hierbei kann entweder nur eine Seite der Linse der Hornhaut entsprechend bearbeitet werden oder es können die Vorderseite 12 und die Rückseite 13 wie am Strahlengang 7 gezeigt, derart variiert werden, daß durch kleine Veränderungen der Krümmungen an der künstlichen Linse 3 Besonderheiten im Bereich der Hornhaut 2 ausgeglichen werden. Beispielsweise kann auch mit einer Seite der Linse 3 die Krümmung und mit der anderen Seite der Linse 3 die Dicke der Hornhaut ausgeglichen werden.

Zur Berechnung der Krümmung jedes einem Punkt 8, 9, 10 auf der Hornhaut 2 entsprechenden Punktes auf der Linsenoberfläche 12, 13 ist es notwendig, die Abstände längs des Strahlenganges einfallender Strahlen 5, 6, 7 zwischen Hornhaut 2, einzusetzender Linse 3 und Retina 4 zu vermessen. Diese Daten

- 10 -

können mittels der Biometrie ermittelt werden, die auf eine Genauigkeit von einem Zehntel Millimeter die Abstände zwischen Hornhaut 2, Vorderseite 12 der künstlichen Linse 3, Rückseite 13 der künstlichen Linse 3 und der Retina angibt.

5 Wenn diese Daten bekannt sind, kann mittels der Topometrie über eine Vielzahl an Punkten 8, 9, 10 die genaue Krümmung der Hornhaut 2 über die gesamte Fläche der Hornhaut 2 ermittelt werden, um daraus den Brechungswinkel in jedem der Punkte 8, 9, 10 zu bestimmen. Die Genauigkeit der Messung wird noch dadurch erhöht, daß in jedem der Punkte 8, 9, 10 zusätzlich die Hornhautdicke bestimmt wird.

10 Mit den derart berechneten Werten wird eine Vorrichtung 20 zur Herstellung einer künstlichen Linse angesteuert, die aus den gemessenen und berechneten Werten eine künstliche Linse erstellt.

15 Im Ausführungsbeispiel werden auf der Hornhaut 3 topometrisch mehrere tausend Punkte gemessen und dazu die relevanten Werte in einem Modell berechnet. Der Schnittpunkt liegt auf der Retina, vorzugsweise im gelben Fleck. Verständlicherweise kann die Krümmung der Linsenoberfläche im Einzelfall aber auch so berechnet werden, daß der Schnittpunkt 15 auf einem anderen Ort auf der Retina oder vor bzw. hinter der Retina liegt.

20 Mit dem beschriebenen Verfahren lassen sich Fehlsichtigkeiten, die auf eine nicht exakt sphärische, asphärische oder irreguläre Krümmung der einfallenden Strahlen oder auf Kurzbau oder Langbau des Auges (Achsenametropie) zurückzuführen sind, begleichen. Eine Fehlsichtigkeit in Folge einer

ungenügenden Anpassung der künstlichen Linse an unterschiedliche Sichtweiten ist im vorliegendem Beispiel durch eine überproportionale Krümmung der künstlichen Linse 3 in ihrem zentralen Bereich 16 auf ihrer Vorderseite 12 ausgeglichen.

- 5 Die Verformungen auf der Hornhaut 2 und den Oberflächen 12, 13 der künstlichen Linse 3 sind überproportional vergrößert eingezeichnet, um sichtbar zu sein.

Figur 2 zeigt schematisch eine Vorrichtung 20 zum Schneiden einer künstlichen Linse 3. Diese Vorrichtung 20 besteht aus einer Eingabeeinheit 21 zum Eingeben  
10 der Hornhautkrümmung und des Ortes einer Vielzahl von Punkten 8, 9, 10 auf der Augenhornhaut 2 sowie der Abstände zwischen der Hornhaut 2, der einzusetzenden Linse 3 und der Retina 4. Diese Eingabeeinheit ist für eine mechanische Eingabe ausgebildet. Zusätzlich ist jedoch auch eine Eingabe online oder über zuvor beschriftete Datenträger möglich, die es erlaubt in kürzester Zeit  
15 die große Anzahl der benötigten Daten in die Vorrichtung 20 einzugeben.

Der an die Eingabeeinheit 21 angeschlossene Rechner 22 dient dazu, aus vorgegebenen fixen Werten und den eingegebenen Werten, die Brechungswinkel für jeden dieser Punkte 8, 9, 10 zu bestimmen und daraus die Krümmung jedes  
20 einem Punkt auf der Hornhaut 2 entsprechenden Punktes auf der Linsenoberfläche 12, 13 zu berechnen.

Diese berechneten Werte werden nun einer Vorrichtung 23 zum Schneiden der künstlichen Linse 3 aus einem Rohling 24 zugeführt, die mittels

- 12 -

Lasereinrichtungen aus dem Rohling 24 die für einen individuellen Einsatz berechnete Linse 3 schneidet. Eine Markierung 25 wird durch eine kleine Kerbe am Umfangsrand 26 der Linse 3 erzeugt. Diese Kerbe beeinträchtigt die Funktion der Linse 3 nicht. Sie zeigt aber dem Arzt, der die Linse einsetzt, wie die um ihre zentrale Achse 27 drehbare Linse auszurichten ist.

5

## Patentansprüche:

1. Verfahren zur Ermittlung einer Sollform mindestens einer von einem Strahlengang durch die Pupille eines Auges geschnittenen Oberfläche eines künstlichen oder natürlichen Teiles eines Auges, bei dem
  - 5 - für eine Vielzahl über die Oberfläche verteilte jeweils von einem Punkt ausgehende Strahlengänge das Brechungsverhalten längs des Strahlenganges gemessen oder aus Erfahrungswerten vorgegeben wird,
  - die Abstände längs des Strahlenganges der einfallenden Strahlen zwischen den vom Strahlengang geschnittenen Oberflächen gemessen oder aus Erfahrungswerten vorgegeben werden und
  - 10 - aus diesen Werten die Sollform mindestens einer von den Strahlengängen geschnittenen Oberfläche so berechnet wird, daß möglichst die Strahlengänge sich möglichst in einem Punkt schneiden.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet, daß* mit den berechneten Werten der Stoff eines Teiles des Auges nach seinem Brechungsverhalten ausgewählt wird.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, *dadurch gekennzeichnet, daß* mit den berechneten Werten eine Vorrichtung zur Herstellung einer künstlichen Linse angesteuert wird.
- 20

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, *dadurch gekennzeichnet, daß* das Brechungsverhalten an mehr als 20 Punkten (8, 9, 10) gemessen wird.
- 5 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, *dadurch gekennzeichnet, daß* das Brechungsverhalten an der Hornhaut topometrisch analysiert wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, *dadurch gekennzeichnet, daß* die Abstände biometrisch gemessen werden.
- 10 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, *dadurch gekennzeichnet, daß* die Hornhautdicke an mehreren Punkten (8, 9, 10) gemessen wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, *dadurch gekennzeichnet, daß* der Schnittpunkt (15) auf der Retina (4), vorzugsweise im gelben Fleck, liegt.
- 15 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, *dadurch gekennzeichnet, daß* die Sollformen mehrerer Oberflächen (12, 13) berechnet werden.
- 20 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, *dadurch gekennzeichnet, daß* die Brechkraft der Oberflächen (12, 13) so berechnet wird, daß ein Gleitsicht, Bi- oder Multifokaleffekt entsteht.



11. Vorrichtung (20) zur Herstellung einer künstlichen Linse (3)

- 5                   - mit einer Eingabeeinheit (21) zum Eingeben der  
Hornhautkrümmung und des Ortes einer Vielzahl von Punkten (8,  
9, 10) auf der Augenhornhaut (2) und der Abstände zwischen  
Hornhaut (2), einzusetzender Linse (3) und Retina (4),
- mit einem Rechner (22) zur Berechnung des Brechungswinkels für  
jeden dieser Punkte (8, 9, 10) und der Krümmung jedes einem  
Punkt (8, 9, 10) auf der Hornhaut (2) entsprechenden Punktes auf  
der Linsenoberfläche (12, 13) und
- 10               - einer Einrichtung (23) zum Schneiden der künstlichen Linse (3)  
nach den berechneten Werten.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, *dadurch gekennzeichnet, daß* die  
Einrichtung zum Schneiden der künstlichen Linse (3) eine Lasereinrichtung  
aufweist.

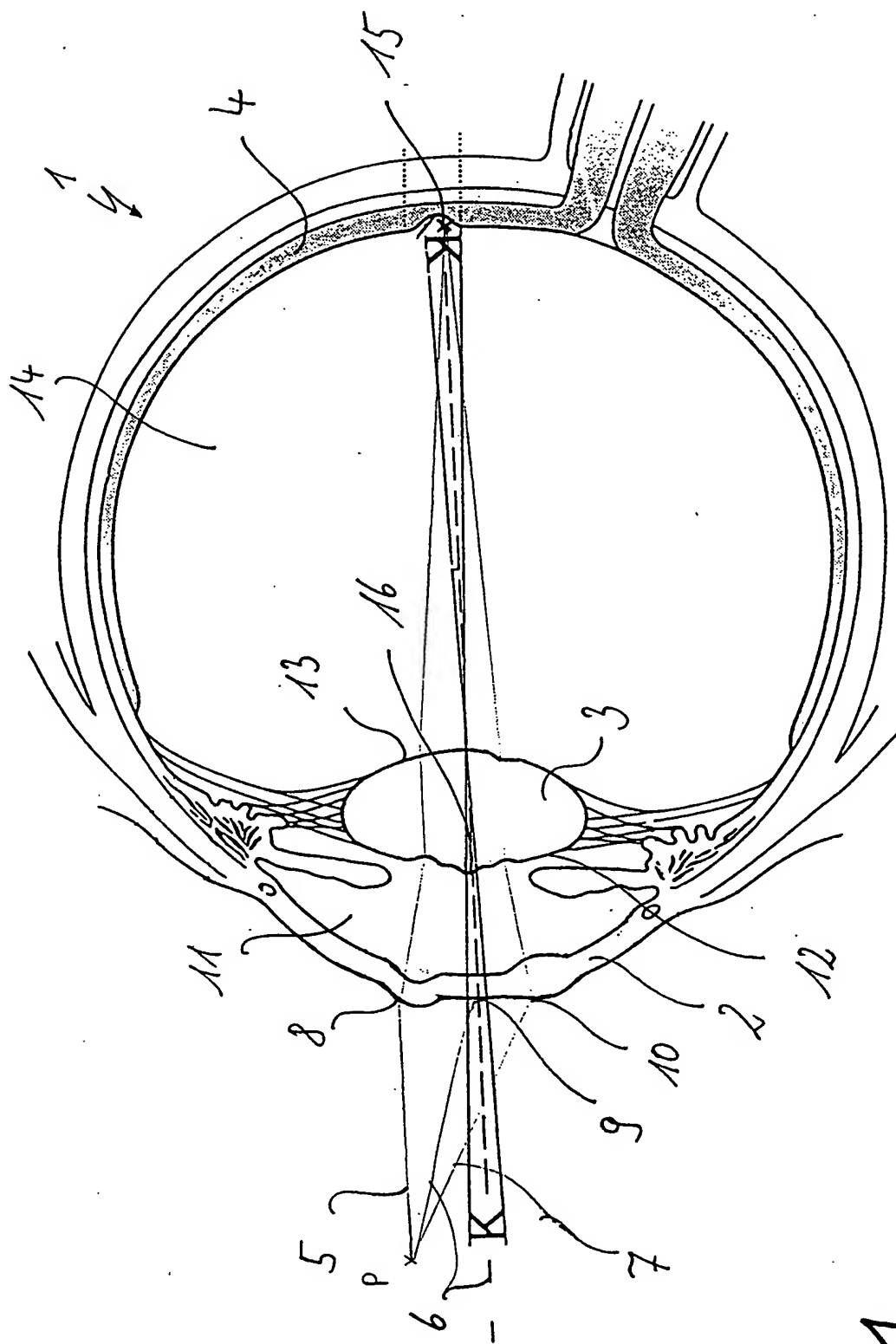


Fig. 1

2/2

